

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-124481

(43)Date of publication of application : 26.04.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/22
F27D 19/00
G05B 17/02
G06F 17/13
H01L 21/205

(21)Application number : 2001-158257

(71)Applicant : HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC

(22)Date of filing : 13.08.1998

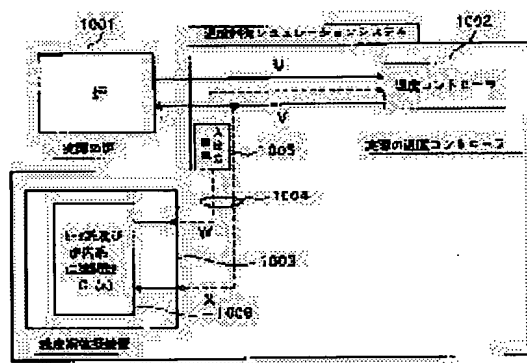
(72)Inventor : TANAKA KAZUO
YAMAGUCHI HIDETO
URABE KENZO

(54) METHOD AND DEVICE FOR SIMULATING TEMPERATURE CONTROL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a temperature control simulation method/device for obtaining a developing method of a temperature control algorithm and an operating method of the temperature control without using an actual furnace, by generating a temperature system simulation model showing a response equal to the temperature change in the actual furnace on a computer in the process device of an electric furnace, a gas furnace and a vapor furnace.

SOLUTION: A transmission function for showing the relation of temperature output against heater input is obtained, and the temperature control simulation of a heating furnace is performed with the transmission function as that which a temperature system simulation device has.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-124481

(P2002-124481A)

(43) 公開日 平成14年4月26日 (2002.4.26)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マコード* (参考)

H 0 1 L 21/22

H 0 1 L 21/22

Z 4 K 0 5 6

F 2 7 D 19/00

F 2 7 D 19/00

A 5 B 0 5 6

G 0 5 B 17/02

G 0 5 B 17/02

5 F 0 4 5

G 0 6 F 17/13

G 0 6 F 17/13

5 H 0 0 4

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2001-158257(P2001-158257)

(62) 分割の表示

特願平10-228770の分割

(22) 出願日

平成10年8月13日 (1998.8.13)

(71) 出願人 000001122

株式会社日立国際電気

東京都中野区東中野三丁目14番20号

(72) 発明者 田中 和夫

東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式会社日立国際電気内

(72) 発明者 山口 英人

東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式会社日立国際電気内

(74) 代理人 100097250

弁理士 石戸 久子 (外2名)

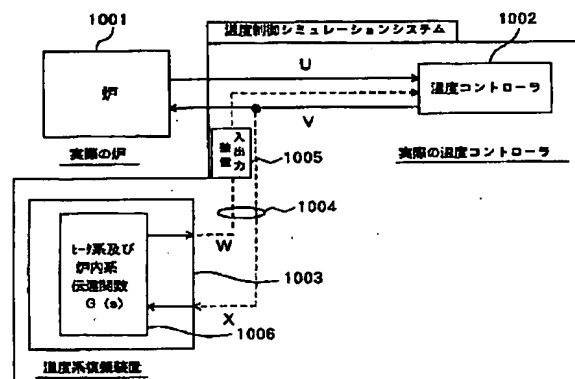
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 温度制御シミュレーション方法および温度制御シミュレーション装置

(57) 【要約】

【課題】 電気炉・ガス炉・蒸気炉などのプロセス装置において、実際の炉の温度変化と同等の応答を示す温度系シミュレーションモデルを計算機上に作成することで実際の炉を使用せずとも、温度制御アルゴリズムの開発、及び温度制御操作方法の習得ができる温度制御シミュレーション方法及び温度制御シミュレーション装置を提供する。

【解決手段】 ヒータ入力に対する温度出力の関係を表す伝達関数を求め、この伝達関数を温度系模擬装置の有する伝達関数として、加熱炉の温度制御シミュレーションを行うようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体製造装置の加熱炉において、ヒータ入力に対する炉内温度出力の関係を表す伝達関数を、温度系模擬装置として使用することにより、前記加熱炉の温度制御シミュレーションを行う温度制御シミュレーション方法。

【請求項2】 請求項1に記載の温度制御シミュレーション方法において、前記伝達関数のパラメータが、温度制御プロセスに対応して、経時変化するようにした温度制御シミュレーション方法。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の温度制御シミュレーション方法において、前記伝達関数は複数の異なる温度帯に対応して求められ、温度制御シミュレーションに際しては、前記温度帯に対応して切替えて用いられる温度制御シミュレーション方法。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の温度制御シミュレーションに用いられる温度系模擬装置と該温度系模擬装置からの出力に基づき、該模擬装置への入力を定める温度コントローラとを備えた温度制御シミュレーション装置。

【請求項5】 請求項4に記載の温度制御シミュレーション装置を有する半導体製造装置。

【請求項6】 ヒータを加熱することにより炉内を加熱するようにした温度系における制御対象を、ヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数の直列型伝達関数で表し、前記ヒータに対する入力とヒータ温度出力との関係からヒータ系伝達関数を求めるとともに、前記ヒータに対する入力と炉内温度出力との関係、及び前記求められたヒータ系伝達関数とに基づいて、前記炉内系伝達関数を求め、これら伝達関数を温度系模擬装置として使用する請求項1に記載の温度制御シミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、電気炉・ガス炉・蒸気炉などのプロセス装置において、実際の炉を使用せずとも、温度制御アルゴリズムの開発、及び温度制御操作方法の習得ができる温度制御シミュレーション方法及び温度制御シミュレーション装置等に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の温度制御シミュレーションの一例として、電気炉を用いた半導体製造装置における温度制御シミュレーションについて説明する。図32は、半導体製造装置として使用される縦型拡散装置の電気炉を示すブロック図である。図32に示した電気炉は、炉内を加熱するためのヒータ1101と、ヒータ1101の温度を検出するヒータ熱電対1102と、均熱管1103と反応管1104の間の温度を検出するカスケード熱電対1105と、熱処理するためのウェーハを搭載したポート1106と、ヒータ熱電対1102及びカスケード

熱電対1105の検出温度と設定温度Yからヒータ1101への操作量Z（電力値）を求める温度コントローラ1107から構成されている。

【0003】ヒータ1101は、炉内温度をより高精度に制御するために複数ゾーンに分割されており、たとえば4ゾーン分割の場合には、上部から順にU、CU、CL、Lゾーンなどと呼ばれるゾーンに分割されている。それぞれのゾーンには、各ゾーンごとに、ヒータ熱電対1102とカスケード熱電対1105が設置され、カスケード熱電対1105の検出温度を設定温度Yにするよう、ヒータ熱電対1102の温度を検出しながら、ヒータ1101への操作量Zを温度コントローラ1107内のアルゴリズム（PID演算など）で算出し、ヒータ1101への電力値を調節する。

【0004】また、ポート1106は熱処理するウェーハを搭載して炉内に挿入され、熱処理が終わると炉内から引き出され、次に熱処理するウェーハを搭載して、再び炉内に挿入される。

【0005】図32に示した電気炉を有する縦型拡散装置では、たとえば図33に示すプロセス処理を行っている。図33（a）は縦型拡散装置で行われるプロセス処理の一例のフローチャートを示し、図33（b）はそのときの炉内の温度変化の概略を示したものである。

【0006】ステップS1は、炉内の温度を比較的低い温度T₁で安定させる処理である。ステップS1では、ポートはまだ炉内へ挿入されていない。ステップS2は、ポートを炉内に挿入する処理（ポートロード）である。ウェーハの温度は通常目標温度T₂より低いので、ポートロードした結果、炉内の温度は一時的に目標温度T₂より低い温度になる。この温度低下をすばやく回復し、目標温度T₂に対し微少温度範囲内で安定させるために、温度コントローラによりヒータへの操作量を調節する。

【0007】ステップS3は、目標温度T₂からウェーハに成膜処理等のプロセス処理を施すための目標温度T₃まで徐々に炉内の温度を上昇させる処理（ランプアップ）である。ランプアップした場合、炉内の温度は目標の傾きよりも遅れて上昇し、目標温度T₃に対し微少温度範囲内で安定するまでにはいくらかの時間を要する。

ステップS4はウェーハにプロセス処理を施すために炉内の温度を目標温度T₃で安定させる処理である。ステップS5は、目標温度T₃から再び比較的低い目標温度T₄まで徐々に炉内の温度を下降させる処理である。ステップS6は、プロセス処理が施されたウェーハを搭載しているポートを炉内から引き出す処理である。

【0008】通常ステップS1からステップS6の処理は繰り返し行われるため、1つ1つのステップを短時間で行うことが生産性向上につながる。特に温度制御に求められる性能として、ポートロード及びランプアップ時において、目標温度に対し微少温度範囲内で安定するま

での時間（整定時間）の短縮がある。

【0009】そこで、ポートロード時及びランプアップ時の整定時間の短縮を目的に、また保守作業などのために、半導体製造装置の設計技術者及び半導体製造現場の作業員などは、炉内の温度を観察しながら、温度コントローラを操作することがたびたび必要となる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来、温度制御アルゴリズムの開発、及び温度制御操作方法の習得については、図32に示したような装置を実際に使用し、図33に示したようなプロセス処理を実行して温度を制御していた。図32に示したような装置は大変高価で、設置スペースも大きく、また図33(b)中の目標温度 T_1 、 T_2 は300°C～500°C（あるいは800～1200°C）と大変高温で危険であり、有毒ガスなどを使用する装置もあるため、温度制御を行うには十分な注意が必要となる。また、図33(a)に示したようなプロセス処理は、ステップS1からステップS6までで3～6時間以上もかかるため、安全性向上・コスト低減・作業時間短縮を実現する手段が求められていた。

【0011】この発明は、上記実情に鑑みて為されたもので、電気炉・ガス炉・蒸気炉などのプロセス装置において、実際の炉の温度変化と同等の応答を示す温度系シミュレーションモデルを計算機上に作成することで実際の炉を使用せずとも、温度制御アルゴリズムの開発、及び温度制御操作方法の習得ができる温度制御シミュレーション方法及び温度制御シミュレーション装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するため、この発明に係る温度制御シミュレーション方法は、半導体製造装置の加熱炉において、ヒータ入力に対する炉内温度出力の関係を表す伝達関数を、温度系模擬装置として使用することにより、前記加熱炉の温度制御シミュレーションを行うようにしたものである。

【0013】この発明の実施の形態では、伝達関数をヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数として、それぞれ、 $K \cdot \exp(-Ls) / (1+Ts)$ と近似することにより、系全体の伝達関数を次式

【数1】

$$K_1 \cdot \exp(-L_1 s) / (1+T_1 s) \times K_2 \cdot \exp(-L_2 s) / (1+T_2 s) \quad (1)$$
とする。ここで、 K はゲイン、 T は時定数、 L は遅れを表し、添え字1はヒータ系を、添え字2は炉内系のパラメータであることを示している。そして、かかる系全体の伝達関数を求めて、その伝達関数を用いて、加熱炉の温度制御シミュレーションを行う。

【0014】また、この発明に係る温度制御シミュレーション方法は、前記伝達関数のパラメータが、温度制御プロセスに対応して、経時変化するようにしたものであ

る。

【0015】この発明の実施の形態では、前記(1)式の時定数 T_1 、 T_2 がそれぞれ経時変化するようにしている。

【0016】また、この発明に係る温度制御シミュレーション方法において、前記伝達関数は複数の異なる温度帯に対応して求められ、温度制御シミュレーションに際しては、前記温度帯に対応して切替えて用いられるものである。

10 【0017】系の伝達関数を上記(1)式のような伝達関数で近似する場合、系の温度帯において伝達関数のパラメータが変動する。したがって、その近似をなるべく正確に行うためには、制御に使用される温度帯の全領域を複数の温度帯に分割し、各温度帯において、伝達関数のパラメータを求めることが精度の向上化にとって望ましい。

20 【0018】また、この発明に係る温度制御シミュレーション装置は、請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の温度制御シミュレーションに用いられる温度系模擬装置と該温度系模擬装置からの出力に基づき、該模擬装置への入力を定める温度コントローラとを備えたものである。

【0019】このような構成によれば、温度制御シミュレーションを実際の加熱炉の温度制御と同様に行うことができ、教育実習効果を高めることができる。

【0020】なお、この発明の実施の形態における温度制御シミュレーション装置においては、前記温度系模擬装置で発生した温度情報を電圧信号に変換する変換手段を有している。

30 【0021】また、この発明に係る半導体製造装置は、上述した温度制御シミュレーション装置を有するものである。

40 【0022】また、この発明に係る温度制御シミュレーション方法は、ヒータを加熱することにより炉内を加熱するようにした温度系における制御対象を、ヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数の直列型伝達関数で表し、前記ヒータに対する入力とヒータ温度出力との関係からヒータ系伝達関数を求めるとともに、前記ヒータに対する入力と炉内温度出力との関係、及び前記求められたヒータ系伝達関数とに基づいて、前記炉内系伝達関数を求め、これら伝達関数を温度系模擬装置として使用するようにしたものである。

【0023】この発明の実施の形態においては、上記(1)式において、まず、ステップ応答入力により、例えば、図1に示される構成における、ヒータ熱電対出力に基づいてヒータ系伝達関数を求め、次に、カスケード熱電対出力（直列型伝達関数出力）と、既に求められているヒータ系伝達関数とに基づいて炉内系伝達関数を求めるようにしている。

50 【0024】なお、この発明の実施の形態に示される温

度制御シミュレーション装置は、図1に示されるように、M(4個)の加熱ゾーンに分割されたヒータを用いる炉において、任意の一個のヒータの電力をステップ状に上昇させたときの加熱ゾーンの上昇温度パターンを、それぞれのゾーンに設けられたN(4個×2)の温度計(4個のヒータ熱電対と4個のカスケード熱電対)により検出した結果を全てのヒータにわたり記憶し、上記記憶したM×N個の上昇温度パターン結果から任意のヒータ入力に対する任意の加熱ゾーンの温度出力を得るM×N個の伝達関数を近似的に求め、該各々の伝達関数を加熱炉の温度系シミュレーションモデルとして計算機上に実装したものである。

【0025】また、この発明の実施の形態に示される温度制御シミュレーション装置において、熱処理対象の挿入処理時の温度変化を、シミュレーションモデルの熱容量を時変化させることで表現することにより、外乱時の温度制御を計算機上でシミュレーションすることを可能にしている。

【0026】また、この発明の実施の形態に示される温度制御シミュレーション装置(システム)は、計算機に実装された前記温度系模擬装置と前記炉の温度を制御するために設備される温度コントローラとを相互に接続し、上記温度コントローラの実際の制御対象である炉に替えて上記計算機に実装された温度系模擬装置を仮想上の炉として制御対象とすることを可能にしている。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を図を用いて説明する。いずれの図面及び説明とも、図32の縦型拡散装置(4ゾーン)を例として用いるが、縦型装置以外の他の電気炉及びガス炉・蒸気炉などにも応用できる。

【0028】図1はこの発明による温度系模擬装置に実装される温度系シミュレーションモデルの概略を示している。図1において、190-1~193-4はヒータ系伝達関数、194-1~197-4は炉内系(カスケード系)伝達関数を示している。ヒータ入力A、B、C、Dは、図32中の温度コントローラ1107からヒータ1101へ送られる操作量(電力値)に対応している。同様にヒータ出力E、F、G、Hは図32のヒータ熱電対1102からの出力温度に、炉内温度出力I、J、K、Lは図32のカスケード熱電対1105からの出力温度にそれぞれ対応している。

【0029】図32の構造例からも明かなように、各ゾーンのヒータ1101への入力結果は、入力されたゾーンのみならず、他のゾーンのヒータ熱電対1102及びカスケード熱電対1105の出力温度にも影響を与える。このため、ヒータ系伝達関数190-1~193-4及び炉内系伝達関数194-1~197-4は、他のゾーンへの干渉も考慮に入れたマトリクス状に構築されている。

【0030】すなわち、図1において、Gは伝達関数を示し、それに付された添え字Hはヒータ系を表し、Pは炉内系を示す。またU、CU、CL、Lはそれぞれのゾーンを示し、_の前側のゾーンが出力側ゾーンを示し、_の後側のゾーンが入力側を示している。例えば、ヒータ系伝達関数 $G_{H,U}$ (S)190-1は、Uゾーン入力Uゾーンのヒータ熱電対出力Eに影響を及ぼす場合の関係を示す伝達関数であり、ヒータ系伝達関数 $G_{H,CU}$ (S)190-2は、Uゾーン入力CUゾーンのヒータ熱電対出力に 影響を及ぼす場合の関係を示す伝達関数を示している。

【0031】ヒータ系及び炉内系の直列型伝達関数を各ゾーン毎に一つの伝達関数 $G_{i,j}$ で表した場合の構成を図2に示す。図2において、伝達関数 $G_{i,j}$ は、図1において直列に設けられたそれぞれのヒータ系伝達関数190-1~193-4とカスケード系伝達関数194-1~197-4とを掛け合わせて得られ、式 $G_{i,j} = G_{H,i,j} \cdot G_{P,i,j}$ により得られる。ここで、jは入力ゾーンを表し、iは出力ゾーンを表している。また、H、Pはそれぞれヒータ系と炉内系(カスケード系)とを表している。この構成により、上述のように各ゾーンへの入力A、B、C、Dは、全ゾーン(U、CU、CL、L)への伝達関数ブロック201-1、201-2、...、201-15、201-16により変換され、変換結果は各ゾーンごとに加算器202-1、202-2、202-3、202-4により加算され、それぞれのゾーン出力I、J、K、Lとなる。また、ヒータ熱電対出力E~Hは図1に示されるように加算器203-1~203-4の出力となっている。

【0032】そして、図2に示したような構成にすることにより、各ゾーンの出力温度(カスケード熱電対出力)は、実際の炉と同様、全ゾーンの入力から影響を受けたものとなる。たとえばUゾーンの出力Iは、Uゾーンの入力Aを伝達関数ブロック201-1で変換した結果と、CUゾーンの入力Bを伝達関数ブロック201-5で変換した結果と、CLゾーンの入力Cを伝達関数ブロック201-9で変換した結果と、Lゾーンの入力Dを伝達関数ブロック201-13で変換した結果を加算器202-1で加算した結果となる。この関係を伝達関数 $G_{i,j}$ を用いて表現すると、図3に示すようなマトリクスにより表される。

【0033】次に、図1に示した伝達関数について説明する。各伝達関数の内容を図4に示す。本装置における伝達関数は、制御工学の分野において周知のように、図4に示した「1次遅れ+むだ時間系」と呼ばれる伝達関数により近似することができ、ゲイン(K)、時定数(T)、むだ時間(L)の3つのパラメータを含んでいる。ゲインは単位入力に対する出力の変化量、時定数は単位入力開始から出力がゲインの約63%に変化するまでの時間、むだ時間は単位入力開始から出力が変化する

までの無反応時間を示す。図2、図3に示したように、伝達関数はヒータ系・炉内系それぞれ $4 \times 4 = 16$ 個あり、それぞれの伝達関数において入力と出力の関係から上記3つのパラメータを決定する必要がある。

【0034】なお、上記シミュレーションモデルは、市販の制御系設計汎用ソフトウェアを使用することで容易に作成でき、パラメータを指定することでシミュレーションを実行することができ、例えば、伝達関数のブロックにゲインなどのパラメータを与え、入出力のブロックを結線するだけでシミュレーションを実行することができる。

【0035】次に、上記パラメータの決定方法を、実践例をもとに説明する。はじめに、実際の装置を使用した温度データの取得を行う。取得するデータは開ループによる①～④ステップ応答(U, CU, CL, L各ゾーン単独)、⑤操作量一定の5種類で、測定はヒータ熱電対及びカスケード熱電対とも全測定点とする。

【0036】ステップ応答は、安定時の操作量に1ゾーンのみ数%加えたときの温度変化を取得する。なお、この場合、電源変動のために温度は完全には安定しない。また、安定時の操作量は、閉ループ時における操作量で固定して1時間ほど放置したものを使用する。PID制御の場合において、微分動作(D動作)を行うと出力が安定しないため、微分動作は行わないようにしておく。操作量の変化幅が小さいと誤差の影響が大きくなるので、 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ ほど変化が期待できる量を与える。

【0037】電気炉の温度変化は温度帯ごとに特性が異なるので、モデルのパラメータも温度帯ごとに求める必要がある。実際の装置を使用した温度データを取得する際は温度帯を意識し、なるべく狭い範囲で取得する。例えば $100^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 程度の温度帯ごとに取得することが望ましい。1つのデータの取得後は安定時の操作量に戻し、温度が安定してから次の測定を行う。

【0038】また、開ループでのステップ応答のデータは、電源変動の影響を含んでいるので、操作量一定時の温度変化を用いて補正する。補正は時間軸を合わせて行うため、実際の装置を使用した温度データの取得は同じ時間帯で行う(P. M. 10:00から12時間など)。

【0039】操作量一定時の温度変化の例を図5に示す。ステップ入力開始がP. M. 10:00ならば、これと平行して操作量一定時のデータのP. M. 10:00の温度を基準として、時間と温度変化量の関係を取得する。たとえば、操作量一定時のP. M. 10:00の温度が 400°C 、P. M. 11:00の温度が 390°C であった場合は、ステップ応答のデータのP. M. 11:00の温度に $(400 - 390) = 10^\circ\text{C}$ を加えて補正する。

【0040】補正前のステップ応答データ、すなわち炉内が例えば 500°C で安定した状態からP. M. 1

0:00にCUゾーンの操作量を単位入力として+1%加えたときの温度変化を図6、補正後のデータ、すなわち図5の操作量一定時の温度変化から時間ごとの変動量を算出し、その変動量を図6のステップ応答の開始から順に加えて補正(例えば電源変動量をキャンセルするように減算)した結果を図7に示す。以上、図5～図7に示されるデータを他のゾーン(U, CL, Lゾーン)についても同様にそれぞれ取得する。

【0041】次に、取得したデータからモデル(伝達関数)のパラメータ(ゲイン・時定数・むだ時間)を求める。本モデルの全体系の各伝達関数は、(1)式に示したように、ヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数が直列接続された形を有しており、このようなモデルの構成から、ヒータ系伝達関数のパラメータを求めた後、炉内系伝達関数のパラメータを求める。

【0042】前述した補正後のステップ応答(CUゾーンのみ)を図8に示す。図示したように、ゲインは変化が小さくなった範囲の平均値とする。平均値としたのは誤差を低減するためであり、図8においては46.75が得られている。むだ時間は、ステップ開始から温度が変化し始めるまでの時間とする。誤差もあるので明確な定義は難しいが、あまり長くすると干渉の影響が不自然(てこぼした変化)になるので、長くて3分以内が適切と思われる。ここでは、温度が上昇し始めるまでの時間として0.5分が得られている。時定数はステップ開始からゲイン(上記46.75)の63%に達するまでの時間(厳密にはむだ時間を引いたもの)であり、ここでは167分が得られている。以上により、 $G_{\text{HCU}} - \tau_{\text{HCU}}$ (S)が求まる。以上の方法により、全てのヒータ系伝達関数のパラメータを求める。

【0043】この場合、開ループでのデータは電源変動などの誤差を依然含む可能性があるため、実際の装置を使用して取得した閉ループ(PID制御などを行った場合)のデータを参照して、パラメータの調整を行う。参照する閉ループのデータは、モデルパラメータを求めた温度帯での $+100^\circ\text{C}$ のステップ応答などとし、モデルをヒータ系のみを開ループでシミュレーションした結果と比較しながら調整する。例えば、開ループデータ(操作量一定時)を 500°C で取得した場合は、閉ループデータの条件として 450°C から 550°C へのステップ応答とする。実際に使用されている温度コントローラと同等の動作をする温度コントローラを計算機上に作成し、目標温度を開ループのデータを取得したときと同様に与えてシミュレーションをする。

【0044】調整するパラメータは時定数中心で、むだ時間は微調整のみ、ゲインは長時間経過した結果なので、明らかに調整が必要なとき(ゲインが小さくて目標値に到達しない場合)以外は行わない。

【0045】時定数の調整方法は、実際の装置で取得した温度データに比べて応答が遅い/速い場合には、主側

($U \rightarrow U$ 、 $CU \rightarrow CU$ など)を小さく／大きくする。一方、他のゾーンへの干渉が強く、主側の調整のみでは誤差が小さくならない場合には副側($U \rightarrow CU$ 、 $CU \rightarrow U$ など)をその干渉の程度を考慮して小さく／大きくする。

【0046】例えば、図2において、各ゾーンの出力は各伝達関数の出力を加算したものであり、この出力と実際のデータとを比較して違いを調整する。このとき、どの伝達関数のパラメータを調整するか判断するために、加算する前の出力、つまり各伝達関数ごとの出力を観察する。これは、たとえば、データとして記憶したり、グラフに表示することにより行う。その結果、実測との違いの主な原因と思われる伝達関数を特定し、その時定数を調整する。

【0047】実例として、ヒータ系Uゾーンの調整の際、各伝達関数の出力を観察した結果、CUゾーンの伝達関数からの出力(干渉)が大きすぎるために、実測データよりも応答が速くなっていることが分かり、この時定数を1.5倍してみたところ、まだ応答は速かったため、2倍、2.5倍としていき、最終的には3倍にしたところで、誤差が小さくなった。

【0048】むだ時間については、入力後から温度が上昇し始めるまでの時間を観察し、実際のデータに比べてシミュレーション結果が遅い場合には、そのゾーンへの主側の伝達関数のむだ時間を短くする。逆の場合は長くする。また、干渉の影響で突然でこばこした反応(むだ時間が長すぎる場合に現れる)となった場合は、副側の伝達関数のむだ時間を短くする。

【0049】ゲインについては、長時間経過した結果なので、明らかに調節が必要なとき以外は調節しない。ゲインが小さくて目標値に達しない場合は、該当ゾーンの主側・副側のゲインを10～20%程度(誤差程度)増加させてみる。また、開ループデータの誤差原因も考えられるので開データの再取得を行ってみる。開ループデータの再取得を行ってみるのは、開ループデータは電源変動や測定不可能な誤差を含んでいる可能性があり、場合によってはデータの取得作業ミスを生じていることがあるからである。以上の方法により、ヒータ系伝達関数のパラメータを決定する。

【0050】次に、炉内系伝達関数のパラメータを求める。炉内系伝達関数のパラメータは、ヒータ系伝達関数のパラメータを求めた場合と同様にして、制御系全体の伝達関数パラメータを求め、このパラメータと既に求められたヒータ系伝達関数のパラメータを用いて求める。

【0051】制御系全体の伝達関数のゲインは、ヒータ系伝達関数のゲインを求めたと同様に、補正後のステップ応答データから求める。ヒータ系と同様に変化が小さくなった範囲の平均値を取得し、この平均値をヒータ系のゲインで除したものを炉内系のゲインとする。これは、制御系を構成する伝達関数は、図1に示したように

ヒータ系伝達関数とその後直列接続される炉内系伝達関数とから構成されるためである。

【0052】たとえば、ヒータ系のゲインが40、制御系全体のゲインが50の場合、 $50 \div 40 = 1.25$ を炉内系のゲインとする。このとき、ヒータ系及び炉内系の伝達関数において、入力ゾーンから出力ゾーンへの関係は同一のものを使用する。たとえば、炉内系のUゾーンからCUゾーンへのゲインを求めるときは、ヒータ系のUゾーンからCUゾーンへのゲインを使用する。

【0053】むだ時間は、温度が変化し始めるまでの時間から、ヒータ系のむだ時間を引いたものとする(この場合も入力ゾーンと出力ゾーンの関係は同一のものを使用する)。時定数は、計算機上でシミュレーションして求めた開ループのステップ応答結果と、実際の装置を使用して求めた補正後のステップ応答データ(開ループデータ)を比較しながら、カットアンドトライで求めている。すなわち、炉内系マトリクス伝達関数の時定数は、開ループデータとシミュレーション結果を比較しながら求める。少し大きめの値を初期値として与え、開ループデータと同様のステップ応答(操作量を+数%)をシミュレーションする。

【0054】そして、この結果と開ループデータを比較しながら徐々に時定数を小さく調整していき、時定数を決定する。初期値の値は、制御対象の特性により異なるが、時定数は熱容量と比例関係にあるので、構造上の特性などを考慮して決定する。この実践例では、ヒータ系の時定数が167分と求められたので、炉内系の時定数はヒータ系に比べてかなり熱容量が小さいことから初期値を10分として与えた。結果的には、上記カットアンドトライにより2分となった。

【0055】例えば、後述の図12、図13は、各々、開ループでUゾーンに+1%の操作量を加えた場合の、ヒータ系と系全体における各ゾーンの温度変化を表すが、Uゾーンにおける炉内系のU-Uゲインは、図13で系全体のゲインとして変化が小さくなった部分の平均として16.19を求めて、ヒータ系のゲイン22.6で除した結果の0.7163とする。むだ時間は、温度が上がり始めるまでの大体の時間0.6分からヒータ系の0.4分を引いた0.2分とする。時定数はヒータ系の55分に対して、初期値5分(後で大小を調整するので適当な値でよい)としてモデルを設定し、開ループでシミュレーションする。

【0056】そして、モデル出力と実測値とを比較て、応答が速い場合は時定数を大きくし、遅いときは時定数を小さくする。この例では、5分では遅すぎる結果、4分、3分と調整して、最終的に1分で誤差が小さくなり、この値を時定数としている。

【0057】また最後に、ヒータ系伝達関数と同様に、閉ループのデータと比較しながらパラメータの調整を行い、伝達関数のパラメータ算出が完了するが、パラメー

タは温度帯・プロセス条件・装置ごとに異なるので、シミュレーションを実行する条件ごとに算出することが必要となる。また、ここでは伝達関数のパラメータ決定方法を実践例をもとに説明したが、伝達関数は入力と出力の関係を表すものであるので、より正確に入力と出力の関係を求めることのできる方法がある場合には、補正及び置き換えることも可能である。また伝達関数を現代制御理論に基づいた状態方程式に置き換えることも可能である。

【0058】次に、温度制御に求められる性能の1つに、ポートロード時の整定時間短縮があるため、ポートロード時の温度変化をシミュレーションする必要がある。図9にポートロード時の炉内の温度変化の例を示す。ポートロード時の温度変化の原因は、温度が安定した炉内に室温のウェーハを搭載したポートが挿入される。つまり熱容量が増加するためである。そこで、熱容量の増加をモデルで表現するために、伝達関数の時定数を時変化（時間経過とともに増加）させることにする。時変化のパターンを図10に示す。図示したように、時変化のパターンは2次遅れ曲線

【0059】

【数2】 $1 + \{ \alpha \cdot \exp(-t/\alpha) - \beta \cdot \exp(-t/\beta) \} / (\beta - \alpha)$

【0060】とし、ポートロード後の時定数を T_1 、ポートロード前の時定数を T_0 とすると、ポートロード中の時定数 T は、次の式により求まる。

【0061】

【数3】 $T = (T_1 - T_0) \times \{ 1 + \{ \alpha \cdot \exp(-t/\alpha) - \beta \cdot \exp(-t/\beta) \} / (\beta - \alpha) \} + T_0$

【0062】ここで、 T_1 は、伝達関数を決定した時の値（ポートが挿入された状態）であり、上記の式で未決定な値は、 T_0 と、 α 、 β である。そして、この T_0 と α 、 β を、実際にポートロードした時のデータを使用して求める。ポートロード時の温度低下が大きい場合には、 T_0 の値を、 T_1 と比較して小さく、すなわち（変化量： $T_1 - T_0$ ）の値を大きくし、逆に温度低下が小さい時は、 T_1 と比較してあまり小さくない値とする。すなわち（変化量： $T_1 - T_0$ ）の値を小さくする。

【0063】 α 、 β は、温度低下の変化の速さをあらわすパラメータであり、値が大きいと変化が遅く、小さいと変化が速くなる。以上のことを考慮にいれて、実際のデータとシミュレーションの結果を比較しながら、カットアンドトライで、 T_0 と α 、 β を決定する。なお、時定数の時変化パターンを2次遅れ曲線で近似することとしたのは、変化開始時と変化終了時の角度変化をなめらかにして、かつポートの動きが略等速であり熱容量の変化を等速に近づけることにより実際の動作に近づけたためである。そして、こうして求められた時定数を用いて、ポートロード時のモデルを構築する。

【0064】図32の炉構成をモデル化するため、モデルから出力される熱電対出力は、ヒータ熱電対出力とカスケード熱電対出力が必要になる。一般的には、モデルはUゾーンのみ示すと、図20(a)（図1と同様）のような構成で表現できるが、ポートロード時のように時定数変化の必要な場合は、図20(a)の構成では、カスケード系（炉内）伝達関数の時定数が小さい場合、カスケード系伝達関数の時定数だけ変化させてもポートロード時のカスケード熱電対出力における温度低下を表現できない場合がある。そこで、この場合は、少し複雑になるが、図20(b)のようなモデルを適用する。

【0065】ここで、ヒータ系伝達関数は並列とされ、一方はそのままヒータ熱電対の出力とし、もう一方は、カスケード系伝達関数に接続し、カスケード熱電対の出力とする。図20(b)の構成において、ヒータ系伝達関数H2は、伝達関数パラメータ（ K 、 T 、 L ）については、H1と同一値を使用するが、時定数の時変化パラメータ（ T_1 、 α 、 β ）は異なる値を使用する。このような構成によれば、ヒータ熱電対とカスケード熱電対の時変化を切り離して調節することができ、カスケード系伝達関数の時定数が小さい場合でも、ヒータ系伝達関数H2とカスケード系伝達関数の時定数を時変化することで、カスケード熱電対出力における温度低下を表現できる。

【0066】なお、カスケード熱電対の測定温度からヒータ系伝達関数を使用せず、直接カスケード系伝達関数を求めるようなモデルとすれば、図21のように表される。また、上述した2つのモデルは、ポートロード時のモデルとして説明したが、ポートロード時以外の状態についても適用できることは言うまでもない。

【0067】次に、時変化パラメータの求め方について説明する。ポートロード時のパラメータ決定手順について説明する。

(1) まず、後述するヒータ制御方式でポートロード時のデータを取得する。

(2) 次に、取得したデータと、シミュレーション結果（ヒータ制御方式によるヒータ系を制御）を比較しながら、ヒータ伝達関数H1の時変化パラメータを求める。

(3) 次に、後述するカスケード制御方式でポートロード時のデータを取得する。

(4) そして、取得したデータと、シミュレーション結果（カスケード制御方式で炉内系を制御）を比較しながら、ヒータ伝達関数H2及びカスケード伝達関数の時変化パラメータを求める。

【0068】以下に、上記のヒータ制御方式とカスケード制御方式について説明する。ヒータ制御方式の説明図を図22に示す。図22において、図32と同一対象物には同一符号を付している。ヒータ制御方式は、ヒータ熱電対の温度のみを制御する方式である（カスケード熱電対の温度は測定することができるが、制御には使用し

ない)。そして、設定温度Yからヒータ熱電対の温度を引いた値をPID演算処理し、ヒータへの操作量とする。

【0069】ヒータ制御方式でポートロードしたときの温度変化をCUゾーンのみについて図24に示す。カスケード熱電対の温度を制御していないために、カスケード熱電対の温度は大きく低下しているが、時間経過と共に緩やかに元の温度に回復し、安定している。図24におけるヒータ熱電対の温度のみを拡大した図を図25に示す。ヒータ熱電対はウェーハから遠い位置に設定されているために、ポートロードによる温度低下は小さくなっている。この図25のようなヒータ熱電対の温度変化から上記の手順(2)により、ヒータ伝達関数H1の時変化パラメータを求める。

【0070】次に、カスケード制御方式について説明する。カスケード制御方式の説明図を図23に示す。図23においても、図32と同一対象物には同一符号を付している。カスケード制御方式は、設定温度Yからカスケード熱電対の温度を引いた値をPID演算処理し、更にこの値からヒータ熱電対の温度を引いた値をPID演算処理し、ヒータへの操作量とする。カスケード制御方式を使用することにより、炉内の温度を制御することができる。ヒータ制御方式の存在意義としては、カスケード熱電対に反応ガスが付着するなどの理由で、カスケード熱電対が使用できず、ヒータ熱電対のみで制御する必要がある場合などである。

【0071】カスケード制御方式でポートロードしたときの温度変化(CUゾーンのみに)を図26に示す。カスケード熱電対の温度を制御しているので、ヒータ制御方式に比べカスケード熱電対の温度低下は小さくなっている。また、カスケード熱電対の温度をPID演算処理した結果を使用して、ヒータ熱電対の温度も制御しているので、ヒータ制御方式と比較して、ヒータ熱電対の温度変化も異なっている。このように、図26のヒータ熱電対の温度変化から、ヒータ熱電対へのポートロードによる影響を推測することは不可能となるため、上記手順(1)(2)において、ヒータ制御方式によるデータを使用して、ヒータ系伝達関数H1の時変化パラメータを求めている。

【0072】図26におけるカスケード熱電対の温度のみを拡大した図を図27に示す。この温度変化から上記の手順(4)によりヒータ系伝達関数H2及びカスケード系伝達関数の時変化パラメータを求める。2つの伝達関数のうち、まず始めにヒータ系伝達関数H2の時定数を時変化させてパラメータを求める。次に、ヒータ系伝達関数H2のパラメータはそのまま使用し、カスケード系伝達関数の時定数を時変化させてパラメータを求める。2つの伝達関数の時変化のパラメータの求め方として、ヒータ系伝達関数H2で大まかな温度変化を表現した後、カスケード伝達関数で微調整する手順で行う。場

合によっては、再度ヒータ系伝達関数H2を調整してもよい。時変化パラメータの一例を次に示す。

【0073】時変化パラメータの一例(CUゾーンのみに)

$(T_s - T_0), (\alpha, \beta)$

(ヒータ系伝達関数H1)

HU_cu = 3.5, (3.3, 0.1)

HCU_cu = 12, (2.15, 2.16)

HCL_cu = 6, (2.6, 2.61)

10 HL_cu = 4.8, (3.5, 3.51)

【0074】(ヒータ系伝達関数H2)

HU_cu2 = 5, (1, 1.01)

HCU_cu2 = 27, (1.7, 1.71)

HCL_cu2 = 19.5, (1.3, 1.31)

HL_cu2 = 20.5, (1.15, 1.16)

【0075】(カスケード系伝達関数)

PU_cu = 0.19, (1, 1.01)

PCU_cu = 0.78, (1.7, 1.71)

PCL_cu = 0.83, (1.3, 1.31)

20 PL_cu = 0.5, (1.15, 1.16)

【0076】以上のパラメータの求め方について詳述する。図28(a)~(d)にヒータ制御方式でのポートロード時の温度変化(ヒータ熱電対のみ)と、求めた時変化パラメータを示している。ここで、例えば、「Uゾーン HU_u, cu, c1, 1 = [(3, 3.0, 1), 3.5, 3.4]とあるのは、ヒータ系熱電対のUゾーンの出力として加算される伝達関数の時変化パラメータが、変化時定数が(3, 3.01)で、変化量 $(T_s - T_0)$ が3.5で、変化開始時間が3.4であることを示している。求め方は、温度低下の変化の速さから変化時定数を、温度低下の大きさから変化量をそれぞれカットアンドトライで求める。

【0077】次に、カスケード制御方式のデータを使用し、ヒータ系伝達関数H2及びカスケード系伝達関数の時変化パラメータを求める。図29(a)~(d)にカスケード制御方式でのポートロード時の温度変化(カスケード熱電対のみ)と、求めた時変化パラメータを示している。ここで、「Uゾーン HU2_u, cu, c1 = (1, 1.01), 5, 2.4, PU_u, cu, c1, 1 = (1, 1.01), 0.19, 2.4」とあるのは、上記のヒータ制御方式の場合と同様に、カスケード熱電対のUゾーンの出力として加算されるヒータ系伝達関数H2の時変化パラメータが、変化時定数が(1, 1.01)で、変化量 $(T_s - T_0)$ が5で、変化開始時間が2.4であることを示し、また、カスケード系伝達関数の時変化パラメータが、変化時定数が(1, 1.01)で、変化量 $(T_s - T_0)$ が0.19で、変化開始時間が2.4であることを示している。

【0078】求める順序は、始めにヒータ系伝達関数H2の時変化パラメータを上記のヒータ系伝達関数H1と

同様に求める。もし、ヒータ系伝達関数 H_2 の時定数を時変化するだけで、実測データとシミュレーションデータの変化が同等となった場合は、ここで時変化パラメータを決定し、カスケード系伝達関数の時定数は時変化させない。ある程度カットアンドトライを繰り返してシミュレーション結果が実測データに近づかない場合は、カスケード系伝達関数の時定数の時変化パラメータを求める。求め方は、上記ヒータ系伝達関数 H_1 、ヒータ系伝達関数 H_2 と同様であるが、変化時定数は調整の簡便さからヒータ系伝達関数 H_2 と同じ値を使用する（もちろん、別の値を使用してもよい）。もし、未だ実測データとの違いがある場合は、再度ヒータ系伝達関数 H_2 の時変化パラメータを調整してもよいが、シミュレーション結果が完全に実測データと一致することはあり得ないので、適当な許容範囲にある値を使用する。

【0079】上述のカットアンドトライ方法においては、変化時定数は値が小さいときは変化が速く、大きいときは遅くなり、変化量は温度低下の大きさを意味しており、データとシミュレーション結果を比較しながら調整していく。変化時定数は実際にポートロードしたときのデータから求める。まずゾーンごとにポートロード開始から温度が低下するまでの時間を求める。これが時変化の開始時間となる。次に変化時定数 (α, β) 及び変化量が初期値を与えシミュレーションを行う。時定数の時間変化をシミュレーションするには、開始時間からの経過時間を入力し、そのときの時定数を出力した2次遅れ関数をプログラム化し、この値を伝達関数で使用する。これは上述した市販のソフトウェアにより実現される。なお、カットアンドトライ方法において、時定数は0以下の値を用いることができないため、カットアンド

トライにより調整する際は、0より大きい値を使用する。

【0080】具体的には、例えば、図30（図29に対応）、図31はポートロードのときのカスケード温度を示す図であり、図30は500°Cでポートロードした場合のカスケード熱電対の温度であり、図31は0～10分までを拡大した図である。ポートロード開始時間は0分としている。図31より温度が低下するまでの時間は $[U, CU, CL, L] = [2.4分, 2.1分, 1.4分, 0.8分]$ と求められる。以上の時間より次の処理を行う。

【0081】（1）ポートロード開始からの経過時間が上記で求めた時間より小さい場合は、ポートロード前の時定数を使用したシミュレーションを行う。

（2）ポートロード開始からの経過時間が上記で求めた時間を越えた場合は、ポートロード前の時定数及びポートロード後の時定数、変化時定数 (α, β) を上述した2次遅れ関数に代入して算出した値を時定数として使用する。

【0082】ちなみに、実例データでは、変化時定数

$[\alpha, \beta]$ および時定数の変化量は既述の図28、図29に示している。なお、これら図示された表示において、上記において、 $U_$ は、 U ゾーンの出力として加算される伝達関数を意味しており、例えば、 U_cI は CL ゾーンから U ゾーンへの干渉を出力する伝達関数を示している。上記の例では、 $U \cdot CU \cdot CL \cdot L$ ゾーンに対する変化時定数、変化量はそれぞれ1つの値を用いている。これは、それぞれのゾーンへのポートロードによる影響は、そのゾーンの出力として加算される量に平均して影響するという考えと、調整の簡便さから共通の値を使用したためである。この方法により、上記の例では許容誤差範囲内（過度時10°C以内）となる結果だったが、もちろん、すべてのパラメータを定義するようにしてもよい。

【0083】また、上記、変化時定数の設定においては、変化時定数 (α, β) はなるべく互いに近い値、例えば $(2.9, 3.0)$ などを設定する。近い値の方が、変化が等速となり、実際に近くなる。また $(\beta - \alpha)$ が分母にあるため、全く等しい場合は採用することができない。調整方法については、値が小さいほど温度低下が急になるので、実際のデータと比較し変化が遅いときには小さく、速いときには大きく調整する。初期値は温度が低下し始めてから上昇に転じるまでの時間とする（例えば、低下してから上昇し始めるまでが3分ならば2.9と3.0とする。）変化量は温度低下の大きさを表しており、実際のデータと比較し、温度低下が小さいときには大きく、大きいときには小さく調整する。初期値は時定数の10%程度とする（時定数が5.0なら5とする）。

【0084】これらのパラメータは制御温度・ポートスピードごとに異なるので、条件を明確にしておく。以上の手順により、温度安定時及びランプアップ時のみならず、ポートロード時の温度変化も計算機上でシミュレーションすることができる。ここでは時変化のパターンを2次遅れ曲線で表現したが、ポートの動きに応じて異なる変化パターンを使用できる。

【0085】以上の手順により、図32に示した縦型拡散装置（4ゾーン）の温度変化と同等の応答を示す温度系シミュレーションモデルを計算機上に作成し、温度制御を計算機上でシミュレーションすることができる。ここに記述した手順は、縦型拡散装置（4ゾーン）の場合を例にしているが、すべての電気炉及びガス炉・蒸気炉に応用可能である。

【0086】なお、図12～図19は各ゾーンにおける開ループの取得データ（操作量+1%とした場合）およびそこから求められた全ての伝達関数パラメータを示している。図12、14、16、18はヒータ温度とヒータ系伝達関数パラメータを、図13、15、17、19はカスケード温度とカスケード系（炉内系）伝達関数パラメータを示している。各ゾーンごとにヒータ（ヒータ

系) 温度とカスケード (炉内系) 温度があり、グラフの下に伝達関数パラメータ (U~Lゾーン) が表示されている。データが不規則となっているのは、電源変動が毎回一定でなく、電源変動をキャンセルできないことによる。なお、各図に示された各パラメータ K (ゲイン)、T (時定数)、L (むだ時間) の値において、例えば図 14 において示される * は乗算を意味しており、184 * 3 における「184」は開ループで取得したデータ、「3」は閉ループのパラメータに調整すべく開ループデータに乗算した値を示している。

【0087】次に、上記の温度系模擬装置を使用した、温度制御シミュレーションシステム (シミュレーション装置) について説明する。システムの構成を図 11 に示す。図 11 は、上記の温度系模擬装置 1003 と、実際の炉 1001 の温度を制御するために設備される温度コントローラ 1002 とを相互に接続することで、上記温度コントローラ 1002 の実際の制御対象である炉 1001 に替えて上記計算機に実装された温度系模擬装置 1003 を仮想上の炉として制御対象とすることを可能にした温度制御シミュレーションシステムの構成図である。すなわち、温度系模擬装置 1003 には、炉 1001 の使用範囲温度全域にわたって、上述のように、各温度帯、例えば一例として 100℃ 毎に複数求められた各ゾーンにおけるヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数とが実装 (計算式として記憶) されている。以下に動作内容を説明する。

【0088】温度系模擬装置 1003 と温度コントローラ 1002 を通信ケーブル 1004 で接続し、温度系模擬装置 1003 からは、温度コントローラ 1002 から受信した操作量 X をヒータ系及び炉内系伝達関数 1006 で変換した結果である温度 W を送信し、温度コントローラ 1002 からは、通常の温度制御と同様に、受信した温度 W と目標温度との差から PID 演算などにより操作量 V を算出して温度系模擬装置 1003 へ送信する。通信は数ミリ秒〜数秒間隔ごとに行う。ヒータ系及び炉内系伝達関数 1006 においては、シミュレーション開始時には、炉内温度が既知であるとして所定の温度帯 (例えば、300℃ を含む温度帯) における伝達関数が使用されるが、その伝達関数によって算出される (操作量を変換した結果) 温度 W が変動 (例えば上昇) し、その温度 W が属する温度帯が異なるものとなった場合には、その時点より当該異なるものとなった温度帯に対応する伝達関数が切り替えられて使用される。この伝達関数の切り替えは、例えば、温度系模擬装置の中に備えられ、算出温度 W に基づいて区画された所定の温度帯を判断し、この温度帯に従って伝達関数を切替え選択する伝達関数切替手段により行われる。なお、上述した温度帯の設定の仕方、伝達関数切替手段の構成は、一例であり、かかる構成によりこの発明が限定されないことは明らかである。また、シミュレーションによる (炉の) 温

度変化の範囲が小さいために、炉の温度特性が一定とみなされるような場合には、その全域において一つの伝達関数を使用することもでき、このような場合は伝達関数切替手段も不要となることは言うまでもない。

【0089】温度コントローラ 1002 は熱電対で検出した起電力を入力する構造になっているので、この場合、温度系模擬装置 1003 から送信された温度 W に対応した電圧を発生させる入出力装置 1005 を、温度系模擬装置 1003 と温度コントローラ 1002 との間に設置する必要がある。このような構成にすることにより、実際の炉 1001 から送信される温度 U と温度系模擬装置 1003 から送信される温度 W を同様に扱えるので、実際の温度コントローラ 1002 は、制御対象が実際の炉 1001 なのか温度系模擬装置 1003 なのかを意識する必要がなくなる。また、実際の温度コントローラ 1002 を使用しているため、本シミュレーションシステムによる温度制御の操作は、実際の製造現場などでもそのまま利用できる。

【0090】以上の手順により、実際の炉を使用せずとも、実際の温度コントローラを使用した温度制御の実行及び操作方法などの教育が実行できる温度制御シミュレーションシステムが構築できる。なお、以上において説明された温度範囲は、一つの例であって、この発明は、使用される温度制御の温度範囲に応じた任意の温度範囲に適用できることは明らかである。また、実施の形態においては、伝達関数のパラメータであるゲイン、時定数をステップ応答により求めるようにしたが、この発明は、例えば、システム同定理論による方法、すなわち、あるパラメータを有する伝達関数モデルを用い、このモデルの入出力データが実測データに一致するようにコンピュータ上でパラメータを調整しつつ求めていく方法等も適用することができる。

【0091】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、この発明によれば、従来実際の装置を使用してのみ行っていた温度制御方式開発及び操作方法などの教育の一部分を、計算機上でのシミュレーションに置き換えることができるので、高温・有毒ガスなどの危険性を無くし、高価な装置・設置面積などのコストを低減し、実際の装置を使用した場合に 3〜6 時間以上必要としていたプロセス実行時間を 5 分〜1 時間程度に短縮してプロセス処理の温度変化をシミュレーションできる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】温度系シミュレーションモデルの概略図である。

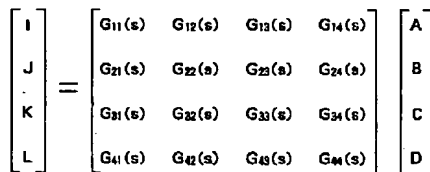
【図 2】ヒータ系伝達関数と炉内系伝達関数の直列型伝達関数を示すブロック図である。

【図 3】図 2 に示されるモデルの入出力関係をマトリクスで示す図である。

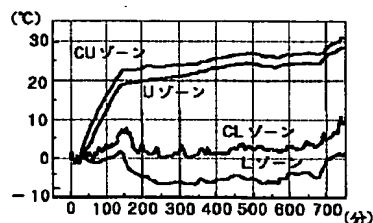
【図 4】各伝達関数の内容を示す図である。

- 【図5】操作量一定時の温度変化を表すグラフである。
 【図6】補正前のステップ応答データを示す図である。
 【図7】補正後のステップ応答データを示す図である。
 【図8】補正後のステップ応答データ（1ゾーンのみ）を示す図である。
 【図9】ボートロード時の炉内の温度変化を表す図である。
 【図10】時定数の時変化パターンを表す図である。
 【図11】温度制御シミュレーションシステムの構成図である。
 【図12】Uゾーンのヒータ系伝達関数を示すデータである。
 【図13】Uゾーンのヒータ系および炉内系の直列伝達関数を示すデータである。
 【図14】CUゾーンのヒータ系伝達関数を示すデータである。
 【図15】CUゾーンのヒータ系および炉内系の直列伝達関数を示すデータである。
 【図16】CLゾーンのヒータ系伝達関数を示すデータである。
 【図17】CLゾーンのヒータ系および炉内系の直列伝達関数を示すデータである。
 【図18】Lゾーンのヒータ系伝達関数を示すデータである。
 【図19】Lゾーンのヒータ系および炉内系の直列伝達関数を示すデータである。
 【図20】モデル構成の変形例を示すブロック図である。
 【図21】モデル構成の他の変形例を示すブロック図である。
 【図22】ヒータ制御方式の説明図である。

【図3】



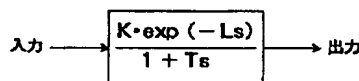
【図6】



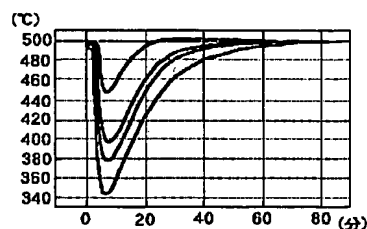
補正前のステップ応答データ（開始温度を0℃とする）

- * 【図23】カスケード制御方式の説明図である。
 【図24】ヒータ制御方式によりボートロードした時の温度変化を示す図である。
 【図25】ヒータ制御方式でボートロードした時の温度変化を示す図である。
 【図26】カスケード制御方式でボートロードした時の温度変化を示す図である。
 【図27】カスケード制御方式でボートロードした時の温度変化を示す図である。
 【図28】各ゾーンにおけるヒータ制御方式におけるボートロード時の温度変化と時変化パラメータを示す図である。
 【図29】各ゾーンにおけるカスケード制御方式におけるボートロード時の温度変化と時変化パラメータを示す図である。
 【図30】ボートロード時のカスケード熱電対温度を示す図である。
 【図31】図20の拡大図である。
 【図32】縦型拡散装置（4ゾーン）の構造例を示す図である。
 【図33】縦型装置で行われるプロセス処理の1例を表す図である。
 【符号の説明】
 190-1~193-4 ヒータ系伝達関数
 194-1~197-4 カスケード系（炉内系）伝達関数
 201-1~201-16 直列型伝達関数
 1002 温度コントローラ
 1001 炉
 1005 入出力装置
 * 1006 ヒータ系及び炉内系伝達関数

【図4】

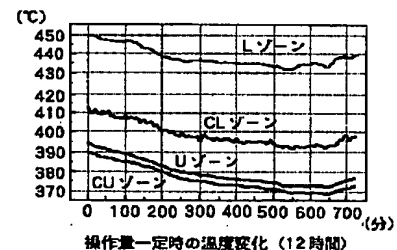


【図9】



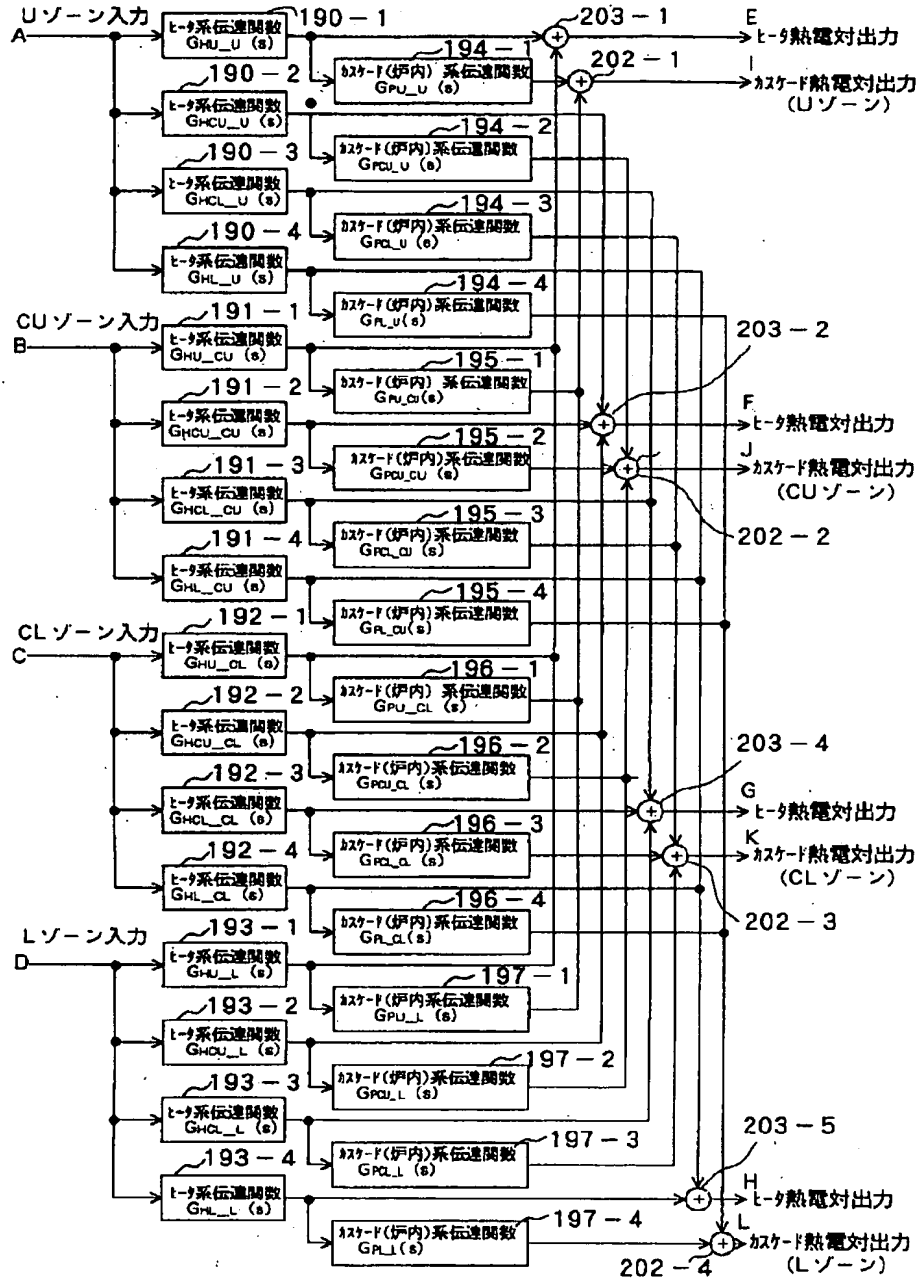
ボートロード時の炉内の温度変化の例

【図5】

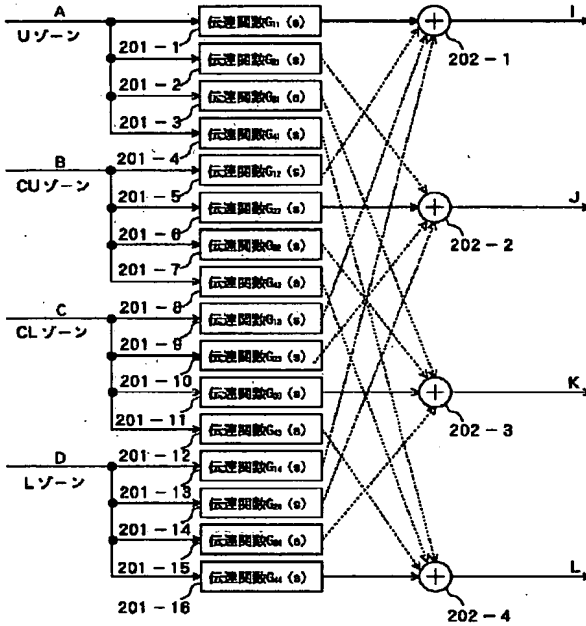


操作量一定時の温度変化（12時間）

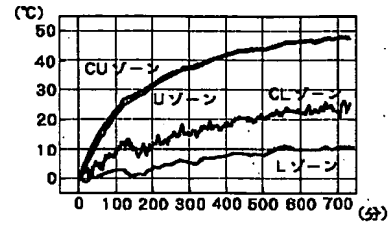
【図1】



【図2】

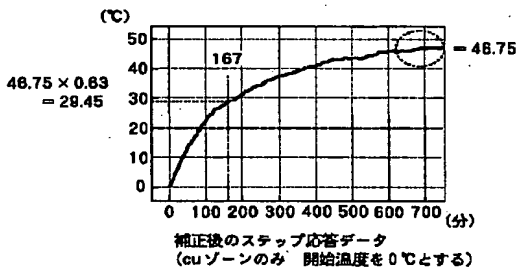


【図7】

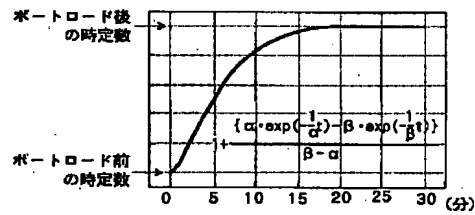


補正後のステップ応答データ (開始温度を0℃とする)

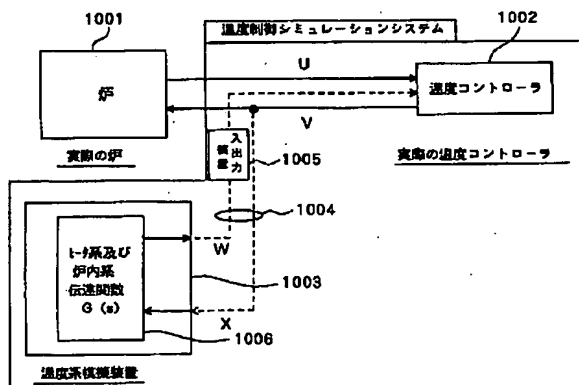
【図8】

補正後のステップ応答データ
(cuゾーンのみ 開始温度を0℃とする)

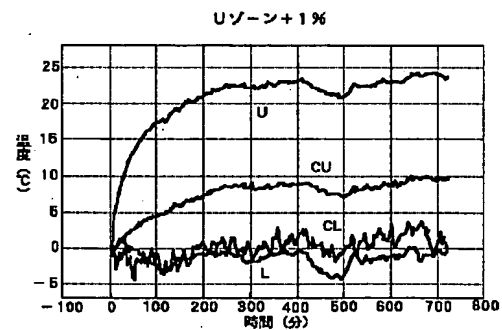
【図10】

時定数の時変化のパターン例 ($\alpha = 3, \beta = 3.01$ のとき)

【図11】

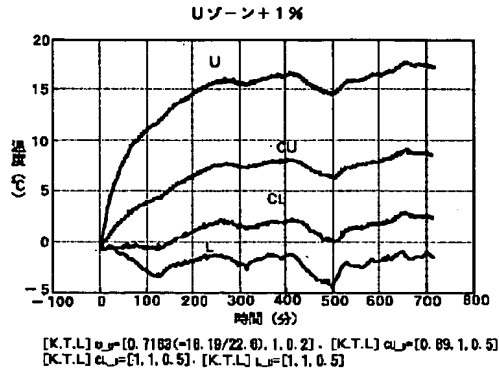


【図12】

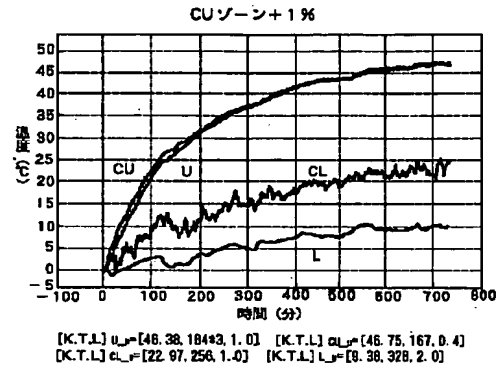


[K.T.L] $\mu = [22.6, 55, 0.4]$ [K.T.L] $\alpha_L = [8.55, 181, 2.0]$
 [K.T.L] $\alpha_F = [2.300, 2.0]$ [K.T.L] $\alpha_L = [1.400, 2.0]$

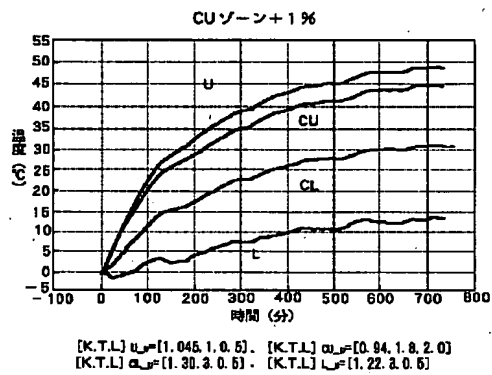
【図13】



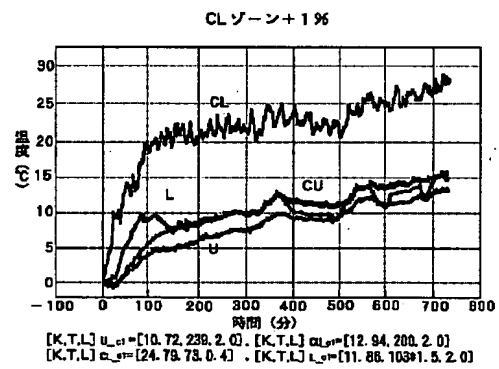
【図14】



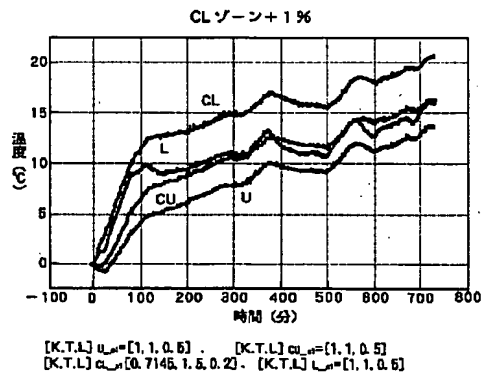
【図15】



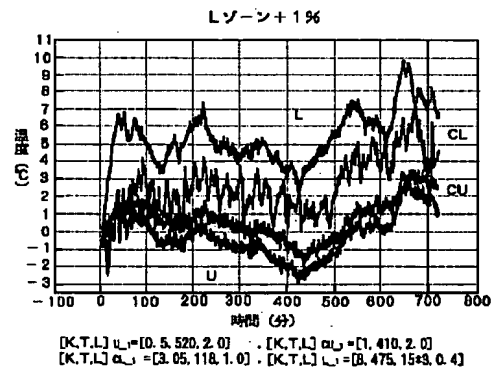
【図16】



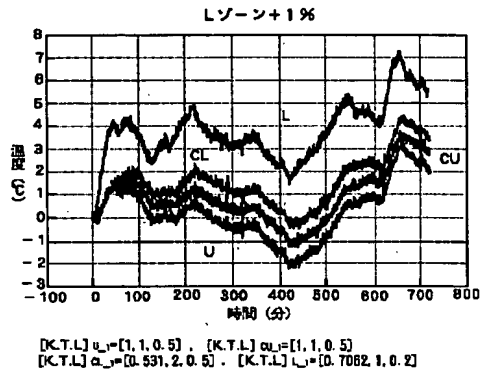
【図17】



【図18】

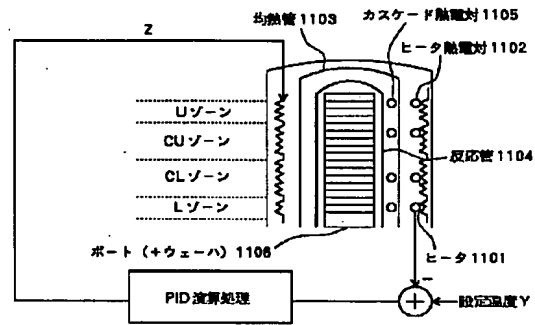


【図19】

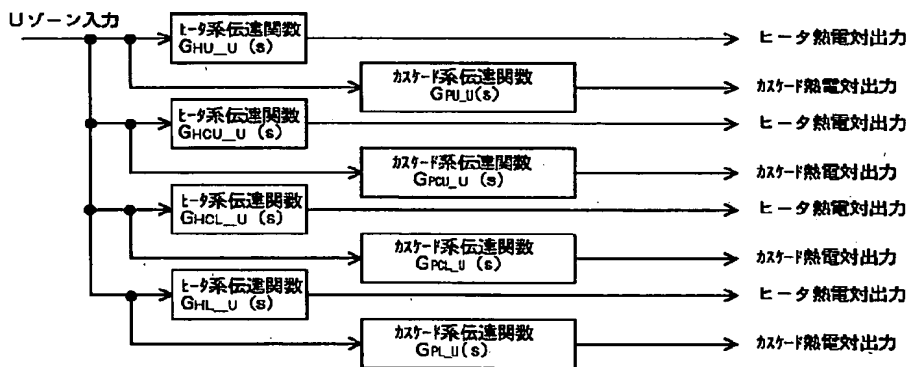


【図22】

ヒータ制御方式の説明図

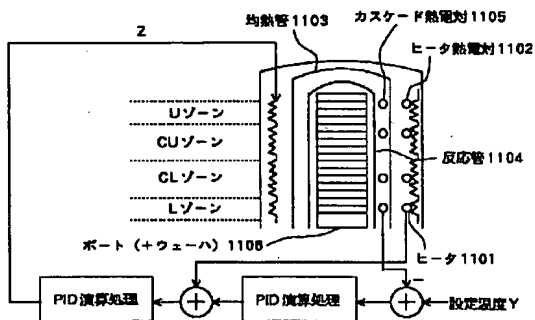


【図21】



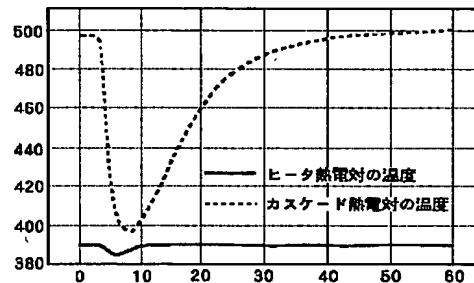
【図23】

カスケード制御方式の説明図

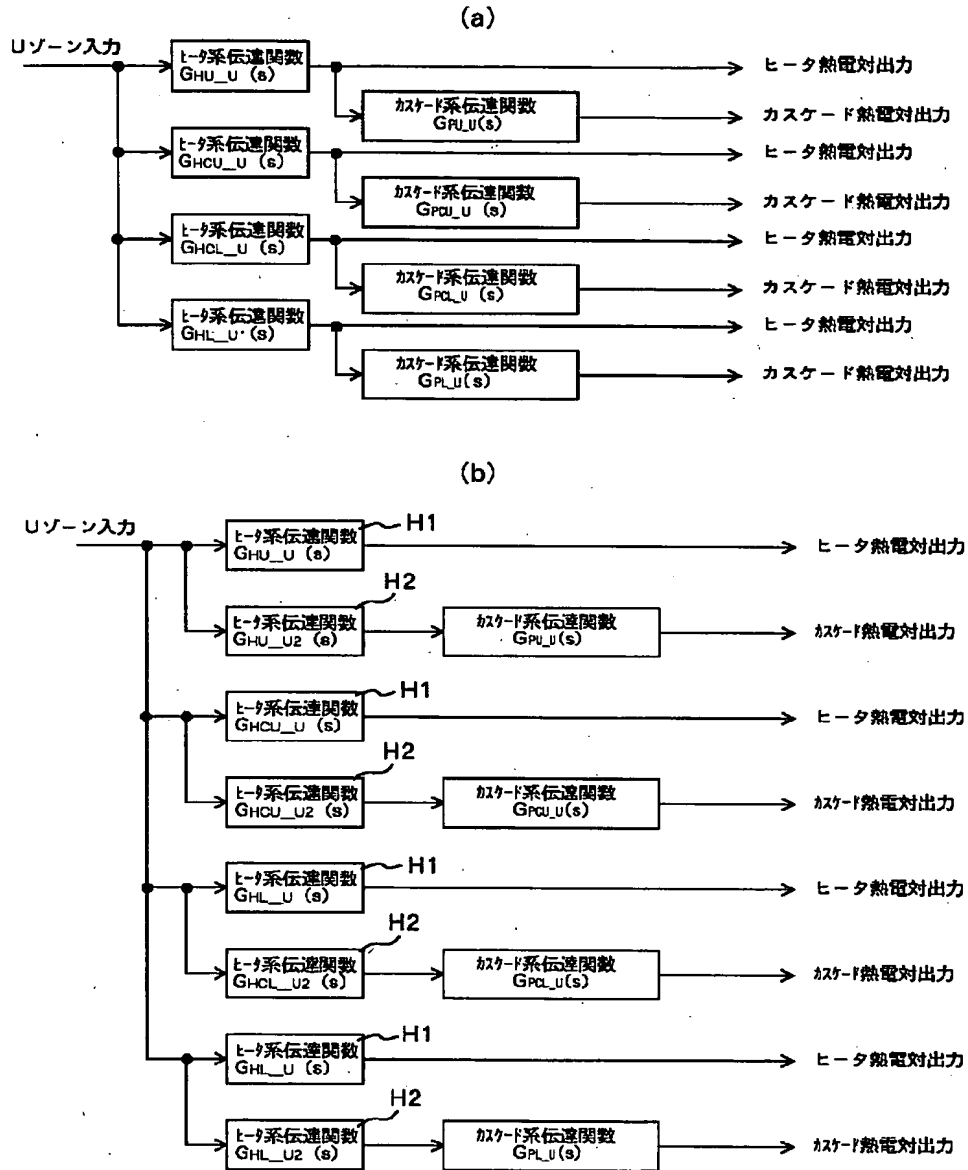


【図24】

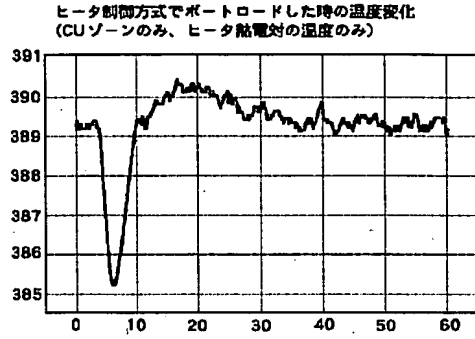
ヒータ制御方式でボートロードした時の温度変化 (CUゾーンのみ)



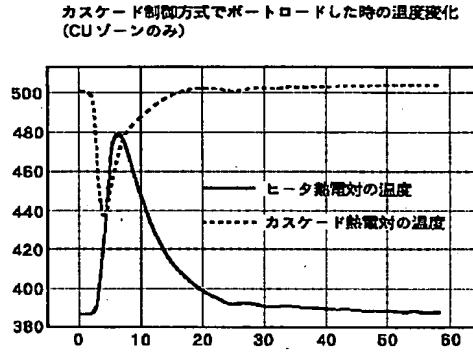
【図20】



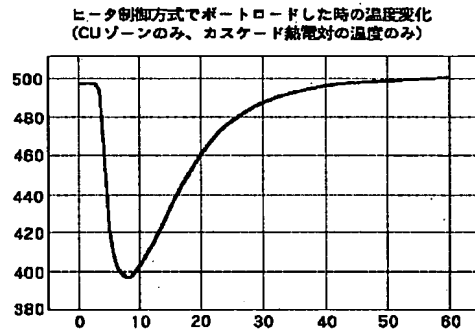
【図25】



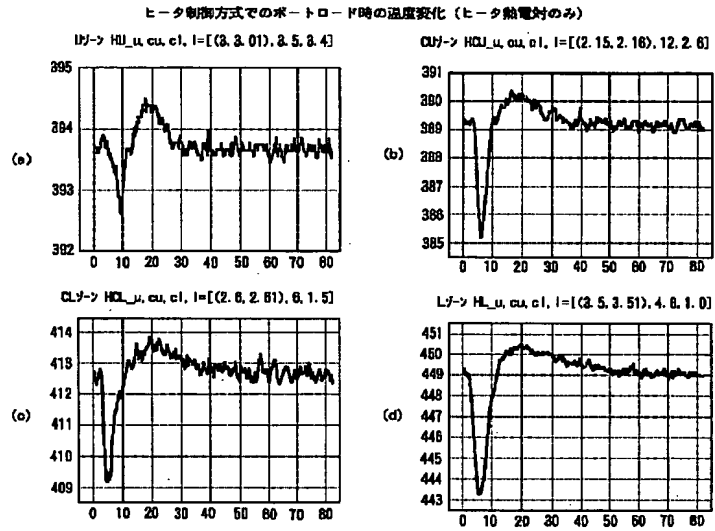
【図26】



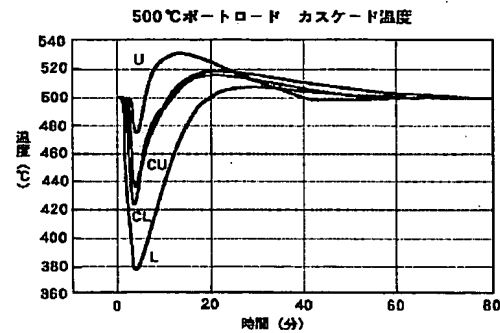
【図27】



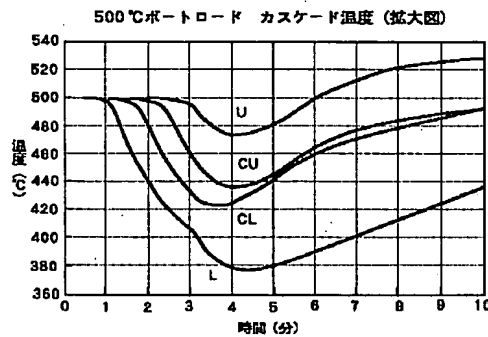
【図28】



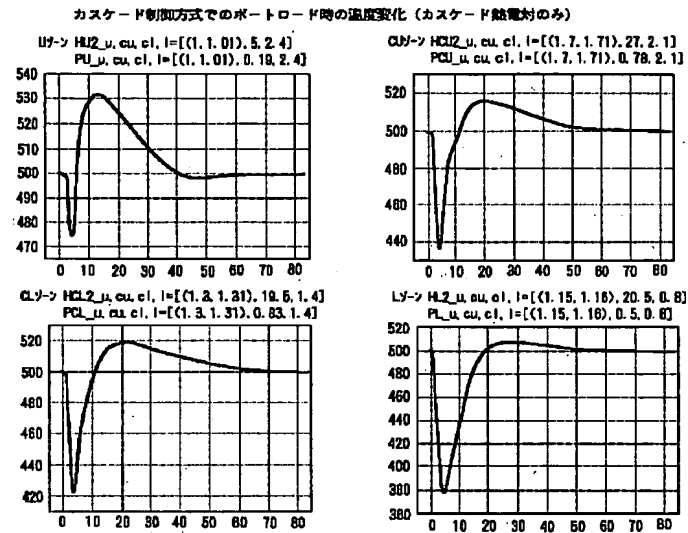
【図30】



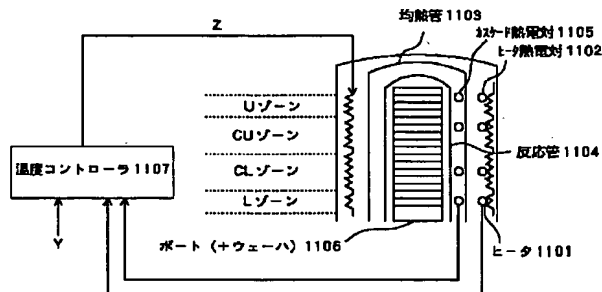
【図31】



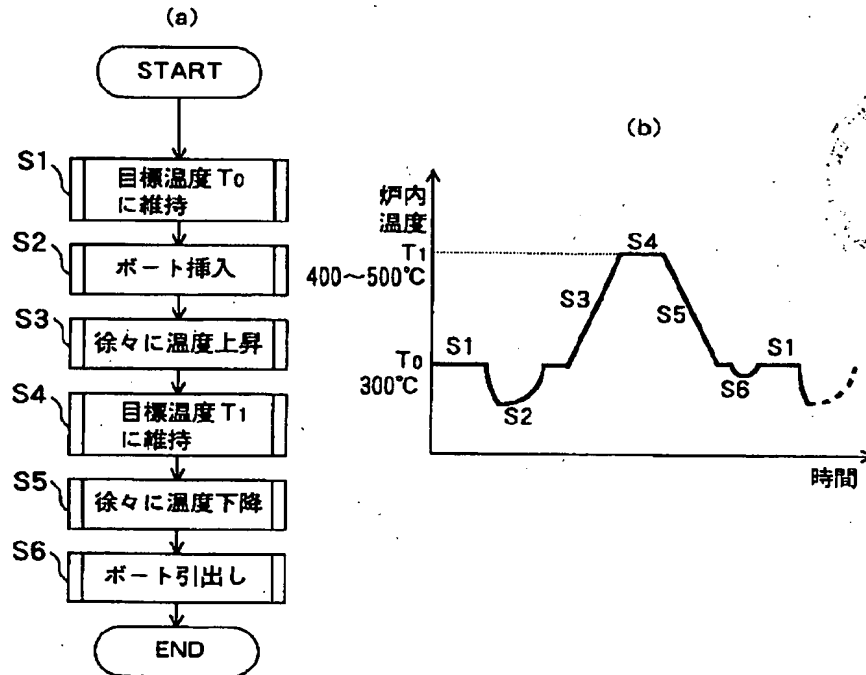
【図29】



【図32】



【図33】



フロントページの続き

(72)発明者 占部 健三
 東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式
 会社日立国際電気内

F ターム(参考) 4K056 AA09 BA01 BB06 CA18 FA04
 FA13
 5B056 AA04 BB66
 5F045 BB10 EK06 EK22 EK27 GB05
 GB17
 5H004 GA30 GA40 GB15 HA01 HB01
 JA22 JB08 KA71 KB02 KB04
 KB06 KB19 KB39 KC28 LA03
 LA15 LA18

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.